

На температурных зависимостях электросопротивления соединений в области температур от 80 до 120 К имеются аномалии (рис.2). Наблюдаемые особенности имеют магнитную природу. По результатам измерения температурных зависимостей магнитной восприимчивости рассчитано значение эффективного магнитного момента, который варьируется от $3.4\mu_B$ до $4.3\mu_B$ в интервале температур от 200-300 К и от $4.0\mu_B$ до $5.5\mu_B$ при 800-1000 К. Величина магнитного момента имеет тенденцию к уменьшению при увеличении концентрации серы.

Работа выполнена при финансовой поддержке *Министерства образования и науки Российской Федерации*(проект № 3.2916.2017/ПЧ).

Список публикаций:

[1] Selezneva N. V et al. // *Physics of the Solid State*. 2011. V. 53. № 2. P. 329-336.

[2] Baranov N. V et al // *Journal of Physics: Condensed Matter*. 2013 V.25. P.66004.

Структурные, микроструктурные, теплофизические и диэлектрические характеристики высокотемпературных мультиферроиков на основе BiFeO_3

Болдырев Никита Анатольевич

*Глазунова Екатерина Викторовна, Гринь Павел Григорьевич, Андрияшин Константин Петрович,
Половинкин Борис Сергеевич, Хасбулатов Сидек Вахаевич, Вербенко Илья Александрович*

Южный федеральный университет

Резниченко Лариса Андреевна

nboldyrev@sfnu.ru

Интерес к объектам, обладающим одновременно магнитным и электрическим упорядочениями, в современной терминологии называемым мультиферроиками, в последнее время значительно вырос в связи со значительными перспективами их применения в устройствах записи и считывания информации, СВЧ-технике, микроэлектронике и др. Следует отметить, что в качестве основ указанных выше приборов рассматривают BiMnO_3 и др., но наибольший интерес представляют высокотемпературные мультиферроики, сочетающие сегнетоэлектрические и магнитные свойства в широком диапазоне температур. Одним из наиболее изученных представителей данного класса материалов является феррит висмута BiFeO_3 (BFO) со структурой типа перовскита. Исследованию керамических составов на его основе с помощью различных методов посвящено большое количество работ. Однако, остается много нерешенных вопросов, связанных с природой фазовых превращений и формированием макрооткликов в BFO. В связи с этим комплексное исследование, направленное на установление закономерностей фазообразования, реализации структурных, микроструктурных, теплофизических и диэлектрических характеристик чистого и модифицированного феррита висмута, как и твердых растворов (ТР) на его основе, является целесообразным. Этому и посвящена данная работа.

Объектами исследования являлись керамические образцы чистого и модифицированного редкоземельными элементами (РЗЭ) феррита висмута, а также ТР на его основе (как двойные, так и тройные). Объекты были получены методом твердофазных реакций обжига в две стадии, с промежуточным помолотом и последующим спеканием по обычной керамической технологии.

В ходе исследований было установлено, что с изоморфными замещениями ионов в феррите висмута связаны повышение его термической устойчивости и снижение электропроводности при модифицировании крупно- и среднеразмерными редкоземельными элементами, РЗЭ (La, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho); возникновение (при комнатной температуре) различных ромбических фаз с моноклинной перовскитной подъячейкой при модифицировании BiFeO_3 ионами РЗЭ с радиусами, r , равными $(0.89\div 0.98)\text{\AA}$ (Nd, Sm, Eu, Gd, Tb), и сохранение свойственной BiFeO_3 ромбоэдрической структуры при введении ионов РЗЭ с большими (La, Pr) или с меньшими (Dy, Ho, Tm, Yb, Lu) радиусами; низко- и высокотемпературные диэлектрические релаксации, вторичная периодичность свойств. В BiFeO_3 и твердых растворах составов $\text{Bi}_{1-x}\text{Eu}_x\text{FeO}_3$ и $\text{Bi}_{1-x}\text{Gd}_x\text{FeO}_3$ ($0.05\leq x\leq 0.20$) имеет место анизотропия магнитодиэлектрического эффекта, заключающаяся в резком уменьшении магнитодиэлектрического коэффициента при взаимно перпендикулярной ориентации электрического и магнитного полей, по сравнению с этим коэффициентом при их параллельной ориентации.

Исследования диэлектрических откликов исследуемых объектов показало, что стабилизация диэлектрических откликов керамики BiFeO_3 и подавление коррелирующих с рядом структурных неустойчивостей BiFeO_3 и балластных фаз аномалий, связанных, в частности, с максвелл-вагнеровской поляризацией и релаксацией, а также снижение его электропроводности в интервалах температур $100\leq T\leq 300$ и $500\leq T\leq 700$ °С при механоактивации и термическом воздействии методом «закалки» происходит за счёт

формирования регулярной однородной микроструктуры в ходе перестройки естественно-композитного состояния, характерного для BiFeO_3 .

Исследование ТР на основе феррита висмута с титанатами щелочноземельных металлов и свинца показало, что в определенном интервале концентраций часть исследуемых образцов по электрофизическим характеристикам соответствует сегнетожестким пьезоматериалам. Достаточно высокие значения $\varepsilon/\varepsilon_0$, K_p , $|d_{31}|$ и $|g_{31}|$ на фоне низких $\text{tg}\delta$ и Q_m позволяют ожидать проявления в объектах магнитоэлектрического эффекта в переменном магнитном поле, что будет исследовано нами в дальнейших работах.

Установлены корреляционные связи между теплофизическими характеристиками исследуемых объектов и фазовой картиной исследуемых объектов

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания (заявки №№ 3.6371.2017/БЧ, 3.6439.2017/БЧ, по ЮФУ №№ БЧ0110-11/2017-35, БЧ0110-11/2017-36) и с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Электромагнитные, электромеханические и тепловые свойства твердых тел» НИИ физики Южного федерального университета.

Фазовая картина и макроотклики сегнетоэлектрических материалов

Болдырев Никита Анатольевич

Павленко Анатолий Владимирович, Павелко Алексей Александрович, Андришина Инна Константиновна, Зубарев Ярослав Викторович, Юрасов Юрий Игоревич, Таланов Михаил Валерьевич, Кисель Олег Юрьевич

Южный федеральный университет

Резниченко Лариса Андреевна

nboldyrev@srfedu.ru

В ряду известных электрически активных материалов электронной техники особое место занимают перовскитные твердые растворы (ТР) бинарных систем $(1-x)\text{PbZrO}_3$ - $x\text{PbTiO}_3$ (ЦТС, PZT) (классические сегнетоэлектрики, КСЭ), $(1-x)\text{PbNb}_{2/3}\text{Mg}_{1/3}\text{O}_3$ - $x\text{PbTiO}_3$ (PMN-PT) (СЭ – релаксоры, СЭР) и многоэлементные композиции с их участием, а также перовскитные сегнетомагнетики на основе феррониобата свинца $\text{PbFe}_{0.5}\text{Nb}_{0.5}\text{O}_3$ (PFN), ставшие основой практически всех известных в мировой практике промышленно выпускаемых материалов. Эти материалы обладают широким спектром функциональных возможностей, во многом определяемым особой фазовой картиной названных систем, включающей морфотропную область (МО) с сопутствующими ей экстремальными практически важными параметрами.

В связи с этим актуальным является подробное исследование пьезоэлектрических, пирозэлектрических и магнитных свойств перовскитных многокомпонентных ТР, проявляющих различный характер СЭ поведения, и выбор на этой основе перспективных составов для дальнейшей доработки с акцентом на практическое применение.

Объектами исследования явились керамические образцы ТР бинарных систем $(1-x)\text{PbZrO}_3$ - $x\text{PbTiO}_3$ (ЦТС, PZT) (классические сегнетоэлектрики, КСЭ), $(1-x)\text{PbNb}_{2/3}\text{Mg}_{1/3}\text{O}_3$ - $x\text{PbTiO}_3$ (PMN-PT) (СЭ – релаксоры, СЭР) и многоэлементные композиции с их участием, а также перовскитные сегнетомагнетики на основе феррониобата свинца $\text{PbFe}_{0.5}\text{Nb}_{0.5}\text{O}_3$ (PFN). Объекты были получены по обычной керамической технологии методом твердофазных реакций обжигом в две стадии, с промежуточным помолотом и последующим спеканием.

При исследовании фазовой картины керамик на основе ЦТС было выявлено, что диаграмме состояний системы ЦТС, помимо известных ранее, свойственны особенности, обусловленные реальной структурой керамик, а именно изрезанность линии фазовых переходов в параэлектрическое состояние, в большей степени в области ромбоэдрически - тетрагонального превращения; возникновение при $0,20 \leq x \leq 1,0$ промежуточной “области нечеткой симметрии”, предвещающей переход в неполярную кубическую фазу при повышении температуры; формирование двух морфотропных областей: сужающейся (ромбически - ромбоэдрической) и расширяющейся (ромбоэдрически - тетрагональной) по мере повышения температуры; насыщенность односимметричных фрагментов фазовой диаграммы областями сосуществования фазовых состояний.

Изучение высокотемпературных сегнетоэлектриков показало, что в ТР на основе ниобатов натрия и стронция особенности в изменениях микроструктуры коррелируют с изменением симметрии по мере увеличения x , которая изменяется от ромбической с удвоенной (М2) и(или) с учетверенной (М4) моноклинной подъячейкой до кубической со сверхструктурой (К2) и без нее (К). Существуют две области со смешанным типом структур, сочетающие М-ячейки различной мультиплетности. С продвижением «вглубь» систем перовскитовая структура сменяется слоистой (С) с различным чередованием слоистых фаз.